博斯腾湖有机物污染改善方案研究①

胡春明[1]， 娜仁格日乐[2]， 马金锋[1]， 秦 晶[1]， 尤 立[1]
（1. 中国科学院生态环境研究中心，北京 100085；
2. 新疆巴音郭楞蒙古自治州博斯腾湖科学研究所，新疆 库尔勒 841000）

摘 要： 博斯腾湖径流入湖、出湖口过近的水文现状对有机物浓度及其空间分布形成制约。采用 MIKE21 软件构建水动力水质二维数值模型，分析工程方案对博斯腾湖有机物污染的改善效果。根据模拟结果以及配对样本 T 检验分析：在现状基础上实施扬水站东移或引开都河水 $3\times10^8\ m^3\cdot a^{-1}$ 进入黄水沟，均可显著改善博斯腾湖有机物污染，年均化学需氧量（COD）浓度分别降低 13.4% 和 8.91%；两方案同时实施效果更为显著，年均 COD 浓度降低 20.2%；通过工程实施改善博斯腾湖有机物污染切实可行。但在流域尺度上，工程方案仅改变了有机物平衡而未改变总量，博斯腾湖有机物污染改善源于污染物转移至下游孔雀河。

关键词： 博斯腾湖；有机物污染；MIKE21；COD；水文条件

博斯腾湖是我国最大内陆湖泊，在区域社会经济发展、生态平衡维持、生物多样性保持等方面发挥着重要作用[1-2]。随着矿化度上升、有机物污染、水资源短缺等问题凸显[3]，博斯腾湖生态环境问题受到学者关注，包括围绕水质水量[4-5]、水生植物[6-7]、水生生物[8-9]、沉积物[10-11]的基础研究，面向湖泊需水量[12]、生态水位[13]、水资源[14-15]的管理研究以及针对矿化度分布[16]、塔里木河输水[17]等实际问题的工程探讨。

博斯腾湖核心环境问题在于有机物污染，突出表现为大部分湖区水体化学需氧量（COD，chemical oxygen demand）浓度高于地表水Ⅲ类标准限值，以及空间差异显著[18]。有机物对湖泊自净能力反映较弱[19]，浓度降低更多依靠稀释交换作用，而博斯腾湖径流入湖、出湖口位置较近，径流对湖水稀释作用更多体现在西南局部湖区。在现状水文条件下，大部分湖区有机物无法得到稀释，也难以通过水体交换而排出，阻碍博斯腾湖全面水质达标。因此，通过工程优化径流入湖及出湖口，继而促进湖水稀释交换成为改善博斯腾湖有机物污染的潜在方案。

本文采用 MIKE21 软件构建水动力水质二维数值模型，模拟不同工程方案对于博斯腾湖有机物污染的改善效果，以期为博斯腾湖水环境保护提供理论依据和工程参考。

1 研究区域概况

博斯腾湖位于中国天山南麓焉耆盆地东南部低洼处，地理位置介于 86°19′～87°28′E，41°46′～42°08′N，是开都河等水系的尾闾以及孔雀河源头（图 1）。博斯腾湖由公路分隔为大小湖区：大湖区在水位 1 047.00 m 时，面积 1 064.1 km^2，容积 $73.03\times10^8\ m^3$，平均水深约 7.5 m，最深处约 16 m；小湖区为诸多浅小湖泊和芦苇沼泽湿地。

博斯腾湖补给河流历史上有开都河、黄水沟、清水河、曲惠沟、乌拉斯台河，现状仅余开都河东支。湖滨的黄水沟湿地承担着污水深度净化功能，部分污水通过渗漏以及汛期行洪进入大湖区。博斯腾湖唯一出水口是位于大湖区西南角的扬水站，水体由东、西两个泵站提升进入孔雀河。

2 MIKE21 模型

2.1 基本方程

MIKE21 是丹麦水利研究所开发的系列水动力学软件之一，在水环境模拟中得到诸多应用[20-21]。博斯腾湖为浅水湖泊，水平尺度远大于垂直尺度，用 MIKE21 HD 模块构建垂向平均的二维水动力模型，控制方程如式（1）、式（2）、式（3）；采用MIKE21

① **收稿日期：** 2019-06-21； **修订日期：** 2019-10-12
基金项目： 中国科学院中-斯海上丝绸之路联合科教中心子项目中-斯水技术研究与示范联合中心
作者简介： 胡春明（1982-），男，高级工程师，博士，研究方向为水环境水生态. E-mail：cmhu@rcees.ac.cn

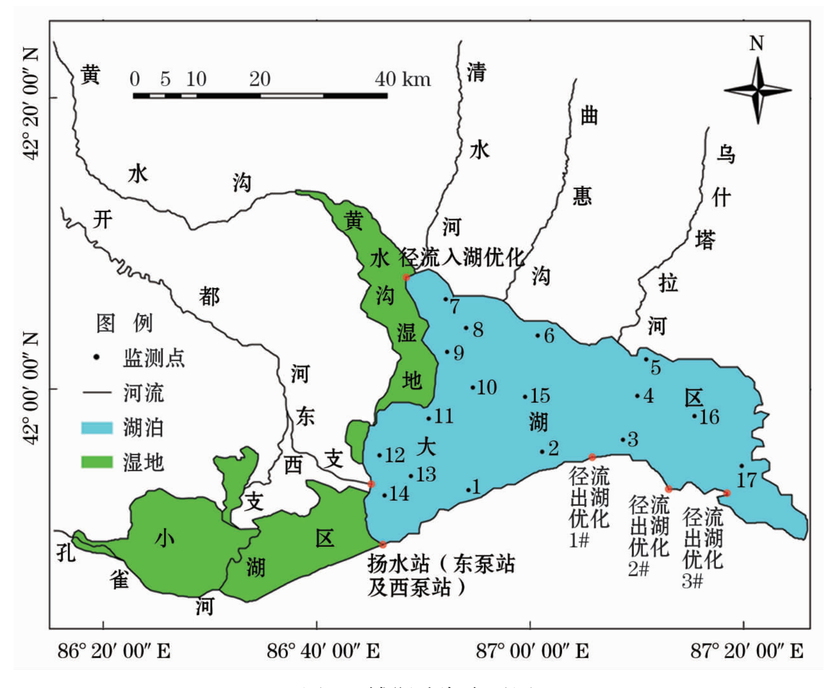


图 1　博斯腾湖水系图

Fig. 1　The water system of Bosten Lake

Transport 模块构建水质模型,基本方程如式(4)。

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}}{\partial y}=hS_f \quad (1)$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y}=f\bar{v}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{gh^2}{2\rho}\frac{\partial \rho}{\partial x}+\frac{\tau_{sx}}{\rho}-\frac{\tau_{bx}}{\rho}+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx})+\frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy})+hu_2S_f \quad (2)$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y}+\frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial x}=-f\bar{v}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{gh^2}{2\rho}\frac{\partial \rho}{\partial x}+\frac{\tau_{sy}}{\rho}-\frac{\tau_{by}}{\rho}+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy})+\frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy})+hv_2S_f \quad (3)$$

式中:t 为时间;u 及 v 为流速;g 为重力加速度;η 为水位;h 为水深;f 为科氏力系数;ρ 为密度,S_f 为源项;τ_{sx}、τ_{sy}、τ_{bx}、τ_{by} 为 x、y 方向的表面风应力和底部切应力。

$$\frac{\partial h\bar{C}}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}\bar{C}}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}\bar{C}}{\partial y}=hF_c-hk_p\bar{C}+hC_sS_t \quad (4)$$

式中:F_c 为水平扩散项;$\bar{C}$ 为垂向平均浓度;S_t 为源汇项;k_p 为线性衰减速率;C_s 为污染物浓度。模型计算范围为博斯腾湖大湖区,采用三角形不规则网格(图 2),三角形边长约为 50 m。

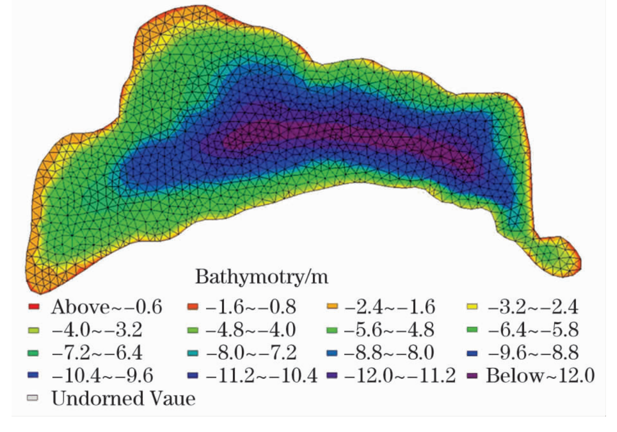


图 2　模型计算网格

Fig. 2　The computational grid of MIKE21

2.2　模型验证

从新疆巴音郭楞蒙古自治州环境保护局收集 2012—2016 年博斯腾湖 17 个国家地表水环境质量监测点水质数据、开都河东支水质数据及污染物数据,从塔里木河流域管理局收集开都河 2013—2016 年东支径流量、扬水站输水量、博斯腾湖水位等月均水文数据。鉴于博斯腾湖湖流受风场影响较大的特征[16],从气象局收集 2013—2016 年降雨、蒸发、风速、风向等月均气象数据作为模型基础输入参数。

以 2013—2015 年数据进行模型率定,以 2016 年数据进行结果验证。模型初始条件为 2013 年 1 月 1 日,时间步长为 5 min,初始水位为实测水位,初始 COD 浓度以 2012 年 10 月实测浓度代替。

模型模拟值与实测值对比如图 3 所示,采用过程线拟合中常用的均方根误差(RMSE)、纳什效率系数(NSE)两个函数进行验证[22-23]。RMSE 计算

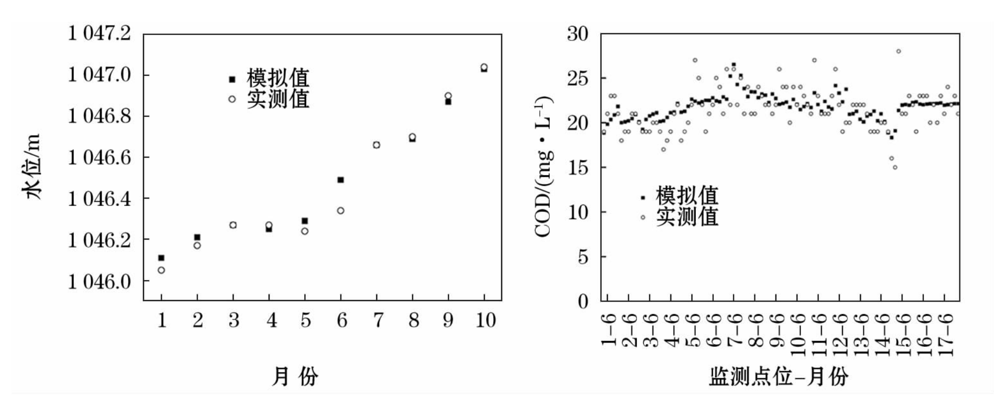


图 3　水位及化学需氧量(COD)模拟验证情况

Fig. 3　Verification of water level and COD

函数如式(5),表征模拟值与实测值之间的偏差。NSE 计算函数如式(6),表征两组数据序列的模拟精度:接近 1 则表示模拟质量越好、模型可信度越高;接近 0 则表示模型总体结果可信,但过程模拟误差较大;小于 0 则表明模拟结果不可信。

$$\mathrm{RMSE}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(Q_0^i-Q_s^i)^2} \tag{5}$$

$$\mathrm{NSE}=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_0^i-Q_s^i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_0^i-\overline{Q_0})^2} \tag{6}$$

式中:Q_0 为实测值;Q_s 为模拟值;$\overline{Q_0}$ 为实测值的平均值。

验证表明,水位模拟结果良好(RMSE=0.056,NSE=0.97),COD 模拟结果整体可信(RMSE=1.77,NSE=0.36)。

3　结果与讨论

3.1　工程方案

针对博斯腾湖径流入湖、出湖口距离较近的状况,结合区域实际情况和工程可行性,设计 3 类工程方案(表 1):径流入湖优化、径流出湖优化、入湖出湖同时优化。

径流出湖优化从增强开都河对湖水稀释作用、提高出湖水体污染物总量角度出发,将现状扬水站向东部迁移,根据湖岸特征设计 3 个迁移位置:1#为南岸最北部;2#为二道海心山附近;3#为三道海心山附近。博斯腾湖南部现状为荒漠区域,扬水站迁移及新建输水设施均具有较高可行性。

径流入湖优化从恢复博斯腾湖自然水文条件出发,将开都河东支部分径流引入黄水沟(多年平均径流量为 2.91×10^8 m^3),设计引水径流量分别为 1×10^8、2×10^8、3×10^8 $m^3\cdot a^{-1}$ 的 3 种方案。开都河与黄水沟均位于焉耆盆地,相互距离较近且地势平坦,引水工程具有可行性。此外,引水工程可作为黄水沟汛期洪水入湖通道,从而减少湿地污水入湖量。

入湖出湖同时优化则为上述两类方案中最优方案的组合(方案 2+方案 6)。

3.2　模拟结果

各方案 2016 年模拟结果统计分析如表 2。在收集 2012—2016 年的博斯腾湖水质数据中,最后一批数据为 2016 年 10 月 15 日,各方案模拟的该日 COD 浓度场如图 4。

表 1　工程方案设计

Tab. 1　Design of projects

工程方案		开都河东支年径流量	黄水沟年径流量/10^8 m^3	扬水站位置	黄水沟湿地污染物输入
现状		现状值	0	西南角	模型率定值
径流出湖优化	方案 1	现状值	0	东南角 1#	模型率定值
	方案 2	现状值	0	东南角 2#	模型率定值
	方案 3	现状值	0	东南角 3#	模型率定值
径流入湖优化	方案 4	现状值减少 1×10^8 m^3	1	西南角	减少至率定值 1/5
	方案 5	现状值减少 2×10^8 m^3	2	西南角	减少至率定值 1/5
	方案 6	现状值减少 3×10^8 m^3	3	西南角	减少至率定值 1/5
同时优化	方案 7	现状值减少 3×10^8 m^3	3	东南角 2#	减少至率定值 1/5

表 2　各方案 2016 年化学需氧量(COD)浓度模拟结果统计

Tab. 2　Simulation of COD in 2016

工程方案	COD 浓度/(mg·L^{-1})						
	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	年均
现状	22.26±1.29	22.16±1.78	21.85±1.47	22.18±1.64	21.96±1.16	21.89±0.87	22.05±1.19
方案 1	19.60±1.52	19.58±1.86	19.20±1.75	19.05±2.27	18.70±1.61	18.77±1.04	19.15±1.46
方案 2	19.54±1.55	19.52±1.87	19.13±1.76	18.99±2.26	18.67±1.61	18.77±1.03	19.11±1.45
方案 3	19.63±1.54	19.60±1.87	19.20±1.77	19.05±2.27	18.72±1.61	18.83±1.04	19.17±1.45
方案 4	20.84±1.06	20.49±1.28	20.11±1.27	20.28±1.48	20.20±0.92	20.00±0.92	20.32±0.97
方案 5	20.73±1.08	20.37±1.30	19.99±1.35	20.17±1.55	20.11±0.91	19.91±0.91	20.21±1.00
方案 6	20.60±1.10	20.23±1.32	19.84±1.45	20.04±1.63	20.00±0.92	19.79±0.91	20.09±1.05
方案 7	18.27±1.24	17.96±1.29	17.52±1.45	17.35±1.75	17.24±1.13	17.19±0.92	17.59±1.07

注:数据为“均值±标准差”。

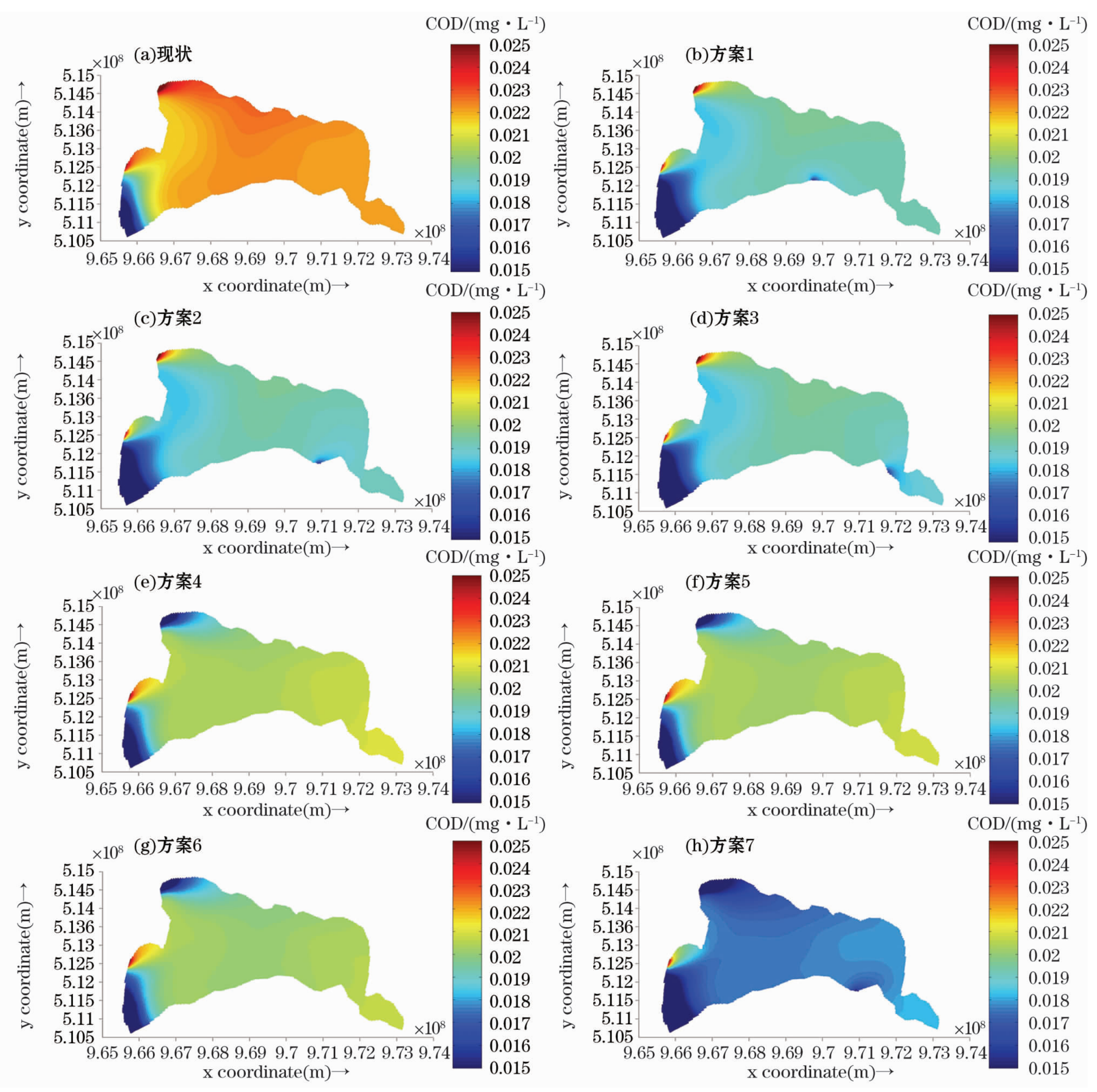


图 4　化学需氧量(COD)浓度模拟结果

Fig. 4　Simulation of COD concentration

径流出湖优化的 3 种方案结果相差不大，分别可实现博斯腾湖年均 COD 浓度下降 13.2%、13.4% 和 13.0%。径流入湖优化的 3 种方案分别可降低年均 COD 浓度 7.84%、8.33% 和 8.91%，黄水沟年径流量越大，湖区水质改善效果愈好。而径流入湖出湖同时优化则可实现博斯腾湖年均 COD 浓度下降 20.2%。

基于模拟结果的标准差分析，方案 1、方案 2、方案 3 模拟结果的标准差较现状略有上升，各监测点 COD 浓度的离散程度更大，表明博斯腾湖 COD 浓度整体空间差异性增大，其原因在于出湖口优化至东南角，仅改善了南部区域 COD 浓度，却进一步加大了与北部区域的差异。其他方案模拟结果的标准差总体下降，COD 浓度空间差异性减小，关键原因在于径流从黄水沟入湖降低了现状污染最为严重的西北区域 COD 浓度。

3.3 方案检验

在各方案模拟结果中，方案 2 是径流出湖优化的最佳方案，方案 6 是径流入湖优化的最佳方案，而方案 7 则为两者的组合。采用“配对样本 *T* 检验”分析方案实施对博斯腾湖水质改善效果，根据检验结果(表 3)，各配对样本检验结果对应的 $P<0.05$，表明在现状基础上实施方案 2 或方案 6 均可显著改善博斯腾湖 COD 浓度，而最终实施方案 7 则可实现 COD 浓度进一步显著改善。

表 3 各方案配对样本 *T* 检验结果

Tab. 3 Results of paired samples *T*-test

	现状 – 方案 2	现状 – 方案 6	方案 2 – 方案 7	方案 6 – 方案 7
T 统计值	57.363	11.684	9.112	56.204
相伴概率(*P*)	0.000	0.000	0.000	0.000

3.4 讨论

湖泊污染物浓度上升根本原因在于总量不平衡，入湖量高于出湖量带来污染物累积。针对博斯腾湖矿化度问题，有研究提出优化设想：韩龙喜等[16]模拟扬水站不同位置对矿化度空间分布产生影响；吴敬禄等[4]分析了扬水站建设运行使博斯腾湖总盐量基本保持在 9.60×10^5 t 的平衡点，而扬水站东迁可将平衡点降低在 8.50×10^5 t。

湖泊污染治理通常采用污染源系统治理、清水产流机制修复、湖泊水体生境改善、流域管理等措施[24]。随着博斯腾湖流域污染源治理及生态保护工程不断实施，湖泊水质持续改善，年均 COD 浓度由 2013 年 28.68 $mg\cdot L^{-1}$ 降至 2016 年 21.50 $mg\cdot L^{-1}$，COD 浓度也逐渐达到一个平衡点。若要继续改善湖区水质，提高污染源治理及生态保护工程效果，需通过工程手段改变博斯腾湖水文条件、打破有机污染物平衡。

开都河水体 COD 浓度普遍在 10 $mg\cdot L^{-1}$ 以内，汇入后在西南区域与湖水混合，再由扬水站排入下游孔雀河，出湖水体携带的有机物总量较少。本研究设定的各工程方案本质均为增加开都河径流停留时间，提高径流与湖水稀释混合程度，打破博斯腾湖有机物现状平衡。博斯腾湖水体的 5 日生化需氧量(BOD5)浓度低(约 2 $mg\cdot L^{-1}$)、浮游生物较少[8-9]，有机物生物降解较弱，稀释交换作用对有机物浓度影响尤为显著，使各方案取得较好改善效果。但从流域尺度考虑，各方案并未减少有机物总量，仅改变有机物时空分布，博斯腾湖有机物总量降低，则意味着下游孔雀河有机物总量升高，生态环境将受到一定影响。

4 结 论

径流入湖、出湖口位置较近的水文现状对博斯腾湖 COD 浓度及其空间分布形成制约。通过优化径流入湖、出湖可改变博斯腾湖有机物平衡，在不改变有机物总量的情况下降低湖区 COD 平衡浓度：将扬水站东移可实现全湖年均 COD 浓度较现状降低 13.4%，引开都河水 $3\times10^8\ m^3\cdot a^{-1}$ 进入黄水沟可降低年均 COD 浓度 8.91%，两者同时实施可降低年均 COD 浓度 20.2%；后两种方案还对湖区 COD 浓度空间差异性也有一定改善作用。

参考文献(References)：

[1] 陈亚宁，李卫红，陈亚鹏，等. 塔里木河下游断流河道输水的生态响应与生态修复[J]. 干旱区研究，2006，23(4)：521－530. [Chen Yaning, Li Weihong, Chen Yapeng, et al. Ecological response and ecological regeneration of transfusing stream water along the dried-up watercourse in the lower reaches of the Tarim river, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2006, 23(4): 521－530.]

[2] 孙玉芳，刘维忠. 新疆博斯腾湖湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 干旱区研究，2008，25(5)：741－744. [Sun Yufang, Liu Weizhong. Evaluation on the service functional values of the wetland ecosystem in the Bosten Lake basin, Xinjiang[J]. Arid Zone

Research,2008,25(5):741 – 744.]

[3] 袁峡,杨佃华. 新疆博斯腾湖水环境问题研究[J]. 干旱区研究,2008,25(5):735 – 740. [Yuan Xia, Yang Dianhua. Study on the aqueous environment problems of the Bosten Lake, Xinjiang [J]. Arid Zone Research,2008,25(5):735 – 740.]

[4] 王亚俊,李宇安,王彦国,等. 20 世纪 50 年代以来博斯腾湖水盐变化及趋势[J]. 干旱区研究,2005,22(3):355 – 30. [Wang YaJun, Li Yu'an, Wang Yanguo, et al. Study on the change of inflow and salt content of the Bosten Lake, Xinjiang Since the 1950s [J]. Arid Zone Research,2005,22(3):355 – 30.]

[5] 房传苓,王秀君,王家平. 新疆博斯腾湖湖周水体碳和盐离子的空间分布[J]. 干旱区研究,2013,30(2):226 – 230. [Fang Chuanling, Wang Xiujun, Wang Jiaping. Spatial distributions of organic carbon and dissolved ions in the Bosten Lake, Xinjiang[J]. Arid Zone Research,2013,30(2):226 – 230.]

[6] 买尔哈巴·买买提汗,玉素甫江·如素力,安尼瓦尔·阿布都热依木,等. 近 26 a 博斯腾湖芦苇湿地的动态监测及其驱动因素[J]. 干旱区研究,2016,33(4):797 – 804. [Maierhaba Maimaitihan, Yusufujiang Rusuli, Anniwaer Abudureyimu, et al. Dynamic variation of *Phragmites australis* wetland in the Bosten Lake basin and its driving factors in recent 26 years [J]. Arid Zone Research,2016,33(4):797 – 804.]

[7] 刘浩峰,刘巍,刘玉燕,等. 博斯腾湖湿地 Cu、Ni 和 Pb 的分布特征及其生态风险[J]. 干旱区研究,2017,34(2):390 – 394. [Liu Haofeng, Liu Wei, Liu Yuyan, et al. Distribution of Cu, Ni and Pb and ecological risk in the Bosten Lake wetland [J]. Arid Zone Research,2017,34(2):390 – 394.]

[8] 李红,马燕武,祁峰,等. 博斯腾湖浮游植物群落结构特征及其影响因子分析[J]. 水生生物学报,2014,38(5):921 – 928. [Li Hong, Ma Yanwu, Qi Feng, et al. Phytoplankton in Bosten Lake: community characteristics and driving factors [J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2014,38(5):921 – 928.]

[9] 李红,祁峰,谢春刚,等. 博斯腾湖浮游动物群落结构特征与分布的季节性变化[J]. 中国水产科学,2013,20(4):832 – 842. [Li Hong, Qi Feng, Xie Chungang, et al. Zooplankton in Bosten Lake: community characteristics and seasonal changes in distribution[J]. Journal of Fishery Sciences of China,2013,20(4):832 – 842.]

[10] 华攸胜,马龙,吉力力·阿不都外力,等. 新疆博斯腾湖近现代湖泊沉积物粒度分布特征及其环境记录[J]. 干旱区研究,2019,36(5):1109 – 1116. [Hua Yousheng, Ma Long, Jilili Abuduwaili, et al. Grain-size distribution and its environmental records of modern lacustrine sediments from the Bosten Lake in Xinjiang [J]. Arid Zone Research,2019,36(5):1109 – 1116.]

[11] 蒲佳,马龙,吉力力·阿不都外力,等. 新疆博斯腾湖表层沉积物粒度空间分布特征[J]. 干旱区研究,2018,35(2):477 – 485. [Pu Jia, Ma Long, Jilili Abuduwaili, et al. Spatial distribution of grain size composition of surface sediment in the Bosten Lake region, Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 2018, 35 (2): 477 – 485.]

[12] 董雯,崔保山,海米提·依米提,等. 基于不同盐度目标的博斯腾湖需水量研究[J]. 干旱区地理,2014,37(5):901 – 907. [Dong Wen, Cui Baoshan, Hemid Yimit, et al. Water demand of the Bosten Lake based on different salinity goals [J]. Arid Land Geography,2014,37(5):901 – 907.]

[13] 胡春明,娜仁格日乐,尤立. 基于水质管理目标的博斯腾湖生态水位研究[J]. 生态学报,2019,39(2):748 – 755. [Hu Chunming, Narengerile, You Li. Study of ecological water levels of Bosten Lake for water quality management [J]. Acta Ecologica Sinica,2019,39(2):748 – 755.]

[14] 王文辉,黄粤,刘铁,等. 开都 – 孔雀河流域水资源优化配置[J]. 干旱区研究,2018,35(5):1030 – 1039. [Wang Wenhui, Huang Yue, Liu Tie, et al. Optimized redistribution of water resources in the Kaidu-Kongque river basin [J]. Arid Zone Research,2018,35(5):1030 – 1039.]

[15] 伊丽努尔·阿力甫江,玉素甫江·如素力. 基于 SD 模型的博斯腾湖水量平衡系统分析与仿真研究[J]. 水土保持研究,2015,22(6):126 – 133. [Ilnur Ghalip, Yusufujiang Rusuli. Analysis and simulation of the water balance of Bosten Lake based on system dynamics model [J]. Research of Soil and Water Conservation,2015,22(6):126 – 133.]

[16] 韩龙喜,张防修,张芃,等. 博斯腾湖湖流及矿化度分布研究[J]. 水利学报,2004,35(10):100 – 105. [Han Longxi, Zhang Fangxiu, Zhang Peng, et al. Flow field and salinity distribution of large inland lake [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2004,35(10):100 – 105.]

[17] 刘登峰,田富强,林木. 基于生态水文耦合模型的塔里木河下游人工输水优化方案研究[J]. 水力发电学报,2014,33(4):51 – 59. [Liu Dengfeng, Tian Fuqiang, Lin Mu, et al. Study on optimal scheme of water transfer in the lower Tarim river based on eco-hydrological evolution model [J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2014,33(4):51 – 59.]

[18] 谢贵娟,张建平,汤祥明,等. 博斯腾湖水质现状(2010—2011年)及近 50 年来演变趋势[J]. 湖泊科学,2011,23(6):837 – 846. [Xie Guijuan, Zhang Jianping, Tang Xiangming, et al. Spatio-temporal heterogeneity of water quality (2010 – 2011) and succession patterns in Lake Bosten during the past 50 years [J]. Journal of Lake Sciences,2011,23(6):837 – 846.]

[19] 任瑞丽,刘茂松,章杰明,等. 过水性湖泊自净能力的动态变化[J]. 生态学杂志,2007,26(8):1222 – 1227. [Ren Ruili, Liu Maosong, Zhang Jieming, et al. Self-purification ability of a water-carrying lake [J]. Chinese Journal of Ecology,2007,26(8):1222 – 1227.]

[20] 高晓薇,刘培斌,王国青,等. 北运河(北京段)水污染特征时空变化模拟[J]. 水利水电技术,2016,47(12):73 – 77. [Gao Xiaowei, Liu Peibin, Wang Guoqing, et al. Simulation of temporal and spatial variation of water pollution characteristics of North Grand Canal (Beijing-section) [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2016,47(12):73 – 77.]

[21] 周燕,冉玲于,苟翡翠,等. 基于数值模拟的湖库型景观水体生

态设计方法研究——以 MIKE21 模型在大官塘水库规划方案中的应用为例[J]. 中国园林,2018(3):123 - 128. [Zhou Yan, Ran Linyu, Gou Feicui, et al. Study on lake and reservoir landscape ecological design method based on numerical simulation-taking the application of MIKE21 model in the planning of Daguantang reservoir as the example [J]. Chinese Landscape Architecture, 2018 (3):123 - 128.]

[22] Nash I E, Sutcliffe I V. River flow forecasting through conceptual models part I: a discussion of principles[J]. Journal of Hydrology, 1970, 10(3):282 - 290.

[23] He Z H, Parajka J, Tian F Q, et al. Estimating degree-day factors from MODIS for snowmelt runoff modeling [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2014, 18(12):4773 - 4789.

[24] 金相灿,胡小贞. 湖泊流域清水产流机制修复方法及其修复策略[J]. 中国环境科学,2010,30(3):374 - 379. [Jin Xiangcan, Hu Xiaozhen. Concept and tactic of clean water runoff generation mechanism restoration in lake watershed[J]. China Environmental Science 2010, 30(3):374 - 379.]

Study on the project of reducing organic pollutants in the Bosten Lake

HU Chun-ming[1], Narengerile[2], MA Jin-feng[1], QING Jin[1], YOU Li[1]

(1. *Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100085, *China*;
2. *Institute of Lake Bosten, Bayingolin Mongolia Autonomous Prefecture of Xinjiang, Korle* 841000, *Xinjiang, China*)

Abstract: The contiguous river estuary and outfall influence the discharge of organic pollutants, which limit the concentration and spatial distribution of the organic pollutants in the Bosten Lake. Various projects should be conducted to optimize the current hydrological conditions. The MIKE21 software was applied to establish a two-dimensional numerical model and analyze the effects of different intervention projects. According to the simulation results and the paired sample *T*-test results, the annual chemical oxygen demand concentration in the Bosten Lake could be reduced by 13.4% by moving the outfall from the southwest to the southeast, 8.91% by diverting 3×10^8 $m^3 \cdot a^{-1}$ of the runoff from the Kaidu River to the Huangshuigou River, and 20.2% by implementing both these projects. The results denote that it is feasible to reduce the organic pollutants in the Bosten Lake by optimizing the hydrological conditions. However, these projects only changed the proportion of the organic pollutants in the Bosten Lake, they did not reduce the quantity of organic pollutants in the basin. The organic pollutants were diverted into the Kongque River downstream.

Key words: Bosten Lake; organic pollutants; MIKE21; chemical oxygen demand; hydrological condition